



# Espacenet

## Bibliographic data: DE 2922563 (A1)

### Method of material processing utilizing an interrupted beam of continuous wave laser radiation

**Publication date:** 1979-12-20

**Inventor(s):** BANAS CONRAD MARTIN ±

**Applicant(s):** UNITED TECHNOLOGIES CORP ±

**Classification:**  
 - International: **B23K26/24; H01S3/00;** (IPC1-7): B23K26/00  
 - european: **B23K26/24; H01S3/00F1**

**Application number:** DE19792922563 19790601

**Priority number(s):** US19780915085 19780612

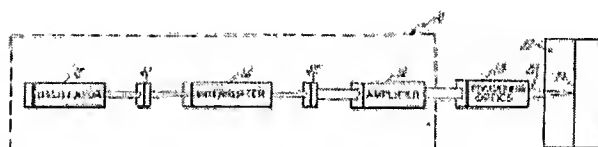
**Also published as:**

- [DE 2922563 \(C2\)](#)
- [US 4152575 \(A\)](#)
- [IT 1121338 \(B\)](#)
- [GB 2022488 \(A\)](#)
- [CA 1119257 \(A1\)](#)

**Cited documents:** [DE2214884 \(A1\)](#) [US4078167 \(A\)](#) [US4000392 \(A\)](#) [US3860784 \(A\)](#) [View all...](#)

**Abstract not available for DE 2922563 (A1)**

**Abstract of correspondent: US 4152575 (A)**



A method of material processing, in particular welding, utilizing high frequency interruption of a continuous wave beam of radiation is disclosed. The pulses of laser radiation are generated at a pulse repetition rate more rapid than the thermal response time of the material, typically greater than one kilohertz, wherein the material reacts with the pulses such that the characteristics of the surface reflectivity of the material are dominated by the peak power in the pulse and the characteristics of the melting of the material are controlled by the average power of the pulses. The duration of each pulse is controlled to be less than the time required to generate a beam absorbing plasma adjacent the weld zone. The absence of beam absorbing plasma and the efficient destruction of the reflectivity of the surface of the material results in increased welding efficiency and/or increased welding speed.

Last updated: 26.04.2011 Worldwide Database 5.7.22; 92p

57

51

Int. Cl. 2:

B 23 K 26/03

19

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

DEUTSCHES



PATENTAMT

DE 29 22 563 A 1

11

# Offenlegungsschrift 29 22 563

21

Aktenzeichen:

P 29 22 563.6

22

Anmeldetag:

1. 6. 79

43

Offenlegungstag:

20. 12. 79

39

Unionpriorität:

39 39 39

12. 6. 78 V.St.v.Amerika 915085

64

Bezeichnung:

Verfahren zum Verbinden von Werkstoffen mittels Laserstrahlung

79

Anmelder:

United Technologies Corp., Hartford, Conn. (V.St.A.)

124

Vertreter:

Menges, R., Dipl.-Ing.; Prahl, H., Dipl.-Chem. Dr.rer.nat.; Pat.-Anwälte,  
8000 München

172

Erfinder:

Banas, Conrad Martin, Bolton, Conn. (V.St.A.)

DE 29 22 563 A 1

PATENTANWÄLTE  
MENGES & PRAHL

Erhardstrasse 12, D-8000 München 5

2922563

Patentanwälte Menges & Prah, Erhardstr. 12, D-8000 München 5

Dipl.-Ing. Rolf Menges  
Dipl.-Chem. Dr. Horst Prah

Telefon (089) 28 3847  
Telex 529581 BIPAT d  
Telegramm BIPAT München

Ihr Zeichen/Your ref.

Unser Zeichen/Our ref.

Datum/Date

U 653

1. Juni 1979

UNITED TECHNOLOGIES CORPORATION  
Hartford, Connecticut 06101, V.St.A.

P a t e n t a n s p r ü c h e :

1. Verfahren zum Verbinden von Werkstoffen mittels Laserstrahlung, gekennzeichnet durch folgende Schritte:

Bereitstellen einer Strahlungsquelle zum Erzeugen eines kontinuierlichen Laserstrahls,

Unterbrechen des kontinuierlichen Laserstrahls mit einem Strahlunterbrecher, um Laserstrahlungsimpulse zu erzeugen,

Steuern des Strahlunterbrechers derart, daß die Impulse mit einer Impulsfolgefrequenz erzeugt werden, die schneller ist als die thermische Ansprechzeit des zu verbindenden Werkstoffes,

Steuern des Strahlunterbrechers derart, daß jeder Impuls eine Impulsdauer hat, die kürzer ist als die Zeit, welche zum Ausbilden eines Plasmas an der Oberfläche des zu verbindenden Werkstückes erforderlich ist,

909851/0678

01 05 70

- 2 -

2922563

Durchleiten der Laserstrahlungsimpulse durch eine Fokussieroptik, um eine mit hoher Energiedichte auf der Oberfläche des Werkstückes einfallende Strahlung zu erzielen, und

In-Wechselwirkung-treten der Strahlungsimpulse mit dem Werkstück, um das Reflexionsvermögen der Oberfläche des Werkstoffes wirksam zu zerstören und die Energie des Impulses innerhalb des Werkstoffes zu absorbieren und eine Schmelze ohne die Ausbildung eines strahlabsorbierenden Plasmas zu bilden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Target relativ zu dem Weg der Impulse verschoben wird, um eine Schweißzone zu bilden.

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Energie in dem Impuls so gesteuert wird, daß ein ruhiges Schmelzen des Werkstückwerkstoffes mit einem minimalen Verlust an Energie durch Reflexion von der Werkstückoberfläche erzielt wird.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß der kontinuierliche Laserstrahl eine niedrige Leistung hat und daß die Laserstrahlungsimpulse zum Erzielen von Impulsen, die eine hohe Energie haben, durch einen Verstärker hindurchgeleitet werden.

5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß der Strahlunterbrecher so gesteuert wird, daß eine Zeitdauer zwischen Impulsen geschaffen wird, die ausreicht, um dem Verstärker zu gestatten, die aus dem Verstärker durch den vorher durch ihn hindurchgegangenen Impuls entnommene Energie wieder zu ergänzen.

6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Impulse, die durch den Verstärker hindurchgehen, eine Impulsform haben, welche durch eine Energiespitze an der Im-

909851/0678

01.08.79

- 3 -

2922563

pulsvorderflanke gekennzeichnet ist.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Impulse mit einer Impulsfolgefrequenz erzeugt werden, die größer als 1 kHz ist.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Impulsdauer jedes Impulses kleiner als 800  $\mu$ s ist.

909851/0678

PATENTANWÄLTE  
MENGES & PRAHL

Erhardtstrasse 12, D-8000 München 5

2922563

Patentanwälte Menges & Prahl, Erhardtstr. 12, D-8000 München 5

Dipl.-Ing. Rolf Menges  
Dipl.-Chem. Dr. Horst Prahl

Telefon (089) 26 3847  
Telex 529 581 BIPAT d  
Telegramm BIPAT München

Ihr Zeichen/Your ref.

Unser Zeichen/Our ref.

Datum/Date

U 653

1. Juni 1979

UNITED TECHNOLOGIES CORPORATION  
Hartford, Connecticut 06101, U.S.A.

---

Verfahren zum Verbinden von Werkstoffen  
mittels Laserstrahlung

---

Die Erfindung bezieht sich auf die Werkstoffbearbeitung und betrifft insbesondere ein Verfahren zum Erzeugen von Laserstrahlungsimpulsen mit Impulseigenschaften, die eine hohe Absorption innerhalb eines Werkstoffes ergeben.

Die Materialbearbeitung mittels fokussierter Laserstrahlung ist bekannt. Materialien, insbesondere Metalle, sind bereits unter Verwendung von Laserstrahlung im Impuls- und Dauerstrichverfahren mit Wellenlängen, die vom Ultraviolett bis zum Infrarot reichen, geschweißt, geschnitten, oberflächenbehandelt, gebohrt, usw. worden. Die Verwendung von Laserstrahlung mit Wellenlängen im Infrarothereich zum Schweißen

909851/0678

und Schneiden von Werkstoffen, wie beispielsweise Metallen, ist durch das hohe Oberflächenreflexionsvermögen der meisten Metalle gegenüber Strahlung mit Wellenlängen im Infrarotbereich behindert worden. Ausserdem wird, nachdem das hohe Oberflächenreflexionsvermögen durch die Wechselwirkung der Strahlung mit der Oberfläche des Werkstoffes zerstört worden ist, ein Plasma aufgrund des Schmelzens und Verdampfens des Werkstoffes typischerweise über der Oberfläche längs des Weges der Strahlung erzeugt. Das Plasma ist typischerweise für die Strahlung hoch absorbierend und führt zu einer Verringerung der Intensität der auf dem Werkstück einfallenden Strahlung und zu einer entsprechenden Verringerung des Wirkungsgrades der Werkstoffbearbeitung. Beim Schweißen kann das anfängliche hohe Reflexionsvermögen von Metallen beträchtlich verringert und/oder beseitigt werden, indem die bekannte sogenannte Tiefschweißung ausgeführt wird. Bei Materialien mit hohem Reflexionsvermögen, wie beispielsweise Aluminiumlegierungen, Kupfer, usw., liegt die Schwellenwertleistungsdichte für die Zerstörung des Oberflächenreflexionsvermögens typischerweise beträchtlich über dem zum Ausbilden einer gleichmäßigen Schmelzzone geeigneten Wert. Es ergibt sich daher eine Situation, in welcher entweder eine fast vollständige Reflexion der einfallenden Strahlung auftritt oder - nach Zerstörung des Oberflächenreflexionsvermögens - eine übermäßige Energieabsorption mit daraus folgendem explosivem Sieden und Bilden einer porösen Schweißung.

Versuche zur Beseitigung dieses Problems durch Beginnen des Schweißvorganges mit einem Strahl hoher Energie zum Zerstören des Reflexionsvermögens und anschließender Verringerung des Energiewertes zum Ausführen der Schweißung sind nicht erfolgreich gewesen. Reflexionsbeherrschtes Verhalten tritt nämlich wieder auf, wenn der Energiewert verringert wird. Der Schweißvorgang geht deshalb nicht weiter, wenn

die Energie in dem Strahl unter den Schwellenwert verringert wird. Die US-PS 3 588 440 beschreibt ein Laserkombinations-energiesystem, bei welchem ein erster und ein zweiter Laser zur Materialbearbeitung benutzt werden, wobei der erste Laser einen Hochleistungsimpuls zum wirksamen Zerstören des Oberflächenreflexionsvermögens liefert und der zweite Laser in der Lage ist, einen kontinuierlichen Laserstrahl zum Aufrechterhalten der Schmelze zu liefern. Die US-PS 3 860 784 beschreibt ein Verfahren, bei welchem ein Laserstrahl zur Tiefschweißung benutzt wird, wobei die Leistung in dem Strahl ausreichend hoch ist, um das relativ hohe Reflexionsvermögen eines metallischen Werkstückes zu überwinden. Eine Schmelzzone, die durch die Wechselwirkung der Strahlung und des Werkstückes erzeugt wird, wird relativ zu dem Laserstrahl mit einer Geschwindigkeit von wenigstens zehn Durchmessern des fokussierten Fleckes bewegt, damit die Schmelzzone dynamisch stabil wird und sich zum Bilden der Schweißung durch den Werkstoff verschieben kann. Nachdem eine Tiefschweißung eingeleitet worden ist, erfolgt eine wirksame Strahlabsorption.

Mehrere Verfahren zum Unterdrücken der Bildung eines an das Werkstück angrenzenden Plasmas sind Stand der Technik. Die US-PS 3 824 368 beschreibt ein Schweißverfahren, bei welchem ein konzentrierter Hochleistungslaserstrahl längs einer Werkstückoberfläche bewegt und ein Inertgasstrom über den Weg des Strahls neben dem Bereich, wo die Strahlung mit dem Werkstück in Wechselwirkung tritt, gerichtet wird, um die Bildung eines strahlabsorbierenden Plasmas zu verhindern. Der Gasstrom unterdrückt die Bildung des Plasmas und verbessert das Metallbearbeitungsverfahren, weil er der Laserenergie gestattet, ungehindert zu dem Werkstück zu gelangen. Außerdem beschreiben die US-PSen 4 000 392 und 4 078 167 Schweißvorrichtungen zur Verwendung mit einem Laserstrahl, die in der Lage sind, einen Plasmaunterdrückungsstrom über den Weg eines Schweißstrahls zu schicken, um die Bildung eines strahlabsorbierenden Plasmas zu unterdrücken. Die Größe des



01.05.77

- 7 -

2922563

Gasstroms ist typischerweise zu dem Leistungswert des Laserstrahls direkt proportional. Das Hinweggleiten eines Gasstromes über die Wechselwirkungszone zur Unterdrückung des Plasmas steht jedoch im Widerspruch zu dem Erfordernis einer ruhigen Schweißzone für die Erzeugung einer glatten, verunreinigungsfreien Schweißung.

Die Erfindung schafft ein Verfahren zum Verbinden von Metallen unter Verwendung einer Laserstrahlung.

Die Erfindung verbessert dabei den Wirkungsgrad der Ausnutzung von Laserstrahlung zum Verbinden von Metallen.

Gemäß der Erfindung wird eine Dauerstrichstrahlung aus einem Laseroszillator mit einer Unterbrechereinrichtung wiederholt unterbrochen, um Strahlungsimpulse zu erzeugen, die durch einen Verstärker intensiviert und auf ein Werkstück fokussiert werden, um darin eine Schweißzone zu bilden. Die Energieverteilung innerhalb jedes Impulses ist nach dem Durchgang durch den Verstärker so verstärkt, daß die Impulse eine Vorderflanke mit einer Energiespitze haben, welche auf einen stationären Wert an der Hinterflanke abklingt. Die Wechselwirkung des Strahlungsimpulses mit dem Werkstück führt dazu, daß die Energiespitze das Oberflächenreflexionsvermögen wirksam zerstört und das Schmelzen einleitet, während die übrige Energie des Impulses zum Bilden der Schweißzone durch die Schmelze absorbiert wird.

Ein Hauptmerkmal der Erfindung ist eine hochfrequente Unterbrechung eines Hochleistungsdauerstrichlaserstrahls zum Erzeugen von Strahlungsimpulsen, die in der Lage sind, einen Werkstoff zu bearbeiten. Bei dem Durchgang jedes Impulses durch den Verstärker wird ein Teil der innerhalb des Verstärkers gespeicherten Energie entnommen, so daß ein Ausgangsimpuls gebildet wird, der eine hohe Dauerenergie und eine Energiespitze an seiner Vorderflanke hat. Während des Zeitintervalls zwischen den Impulsen, das typischerweise in

909851/0678

01 05 70

- 8 -

2922563

der Größenordnung von 10 bis 100  $\mu$ s liegt, wird die Energie innerhalb des Verstärkers wieder gespeichert. Darüber hinaus wird der Dauerstrichstrahl, der durch den Oszillator geliefert wird, mit einer Frequenz unterbrochen, die ausreicht, um eine Impulswiederholung zu erzeugen, welche schneller als die thermische Ansprechzeit des Werkstoffes des Werkstückes und typischerweise größer als 1 kHz ist. Die Impulse reagieren mit dem Werkstück derart, daß die Reflexionseigenschaften des Werkstückes durch die Spitzenenergie des Impulses beherrscht und die Schweißeigenschaften durch die mittlere Leistung in den Impulsen kontrolliert werden. Außerdem wird die Dauer jedes Impulses so gesteuert, daß sie kürzer ist als die Zeit, die für die Bildung eines Plasmas an dem Werkstück erforderlich ist, und sie beträgt typischerweise weniger als 800  $\mu$ s.

Ein Hauptvorteil der Erfindung ist das verbesserte Werkstoffbearbeitungsvermögen der Laserstrahlung. Die hohe Spitzenleistung der Vorderflanke des Impulses zerstört wirksam das Reflexionsvermögen des Werkstoffes, so daß die mittlere Leistung des Impulses in dem Werkstoff so absorbiert werden kann, daß höhere Schweißwirkungsgrade und bessere Werkstoffschneidmöglichkeiten leicht erzielbar sind. Außerdem wird dadurch, daß die Impulsdauer kürzer als die Plasmabildungszeit gehalten wird, die Bildung eines strahlabsorbierenden Plasmas an der Oberfläche des Werkstückes wirksam unterdrückt. Beim Laserschweißen beseitigt die Unterdrückung des Plasmas die charakteristische Nagelkopfstruktur der Schweißung und führt zu einer schmaleren, mehr parallelseitigen Schweißzone und zu einer höheren Schweißgeschwindigkeit für eine gegebene Impulsleistungs- und Einringkennlinie.

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung wird im folgenden unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen näher beschrieben. Es zeigen:

909851/0678

01.05.70

- 9 -

2922563

- Fig. 1 ein vereinfachtes Blockschaltbild eines Laserschweißsystems nach der Erfindung,
- Fig. 2 ein vereinfachtes Schema eines in Fig. 1 gezeigten Strahlunterbrechers,
- Fig. 3 ein vereinfachtes Diagramm, das die Form von sequentiellen Impulsen zeigt.
- Fig. 4 in einer vergrößerten Ansicht einen Teil des Strahlunterbrechers von Fig. 2,
- Fig. 5A eine Schweißung, die unter Anwendung eines bekannten Verfahrens erzielt worden ist, und
- Fig. 5B eine Schweißung, die unter Anwendung des Verfahrens nach der Erfindung erzielt worden ist.

Fig. 1 zeigt ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel der Erfindung. Eine Strahlungsquelle 10, die vorzugsweise einen Oszillator 12 und einen Verstärker 14 enthält, dient zum Erzeugen einer Dauerstrichstrahlung hoher Leistung. Ein Strahlunterbrecher 16, der im folgenden noch näher beschrieben ist und zum Unterbrechen des Dauerstrichstrahls zum Erzeugen von Strahlungsimpulsen dient, ist zwischen dem Oszillator und dem Verstärker angeordnet. Die Fokussieroptik 18 dient zum Fokussieren der Strahlung 20 auf ein Target 22. Das Target ist typischerweise auf einem einstellbaren Halter (nicht dargestellt) montiert, mittels welchem das Target relativ zu dem Weg der Strahlungsimpulse verschoben werden kann, um eine Schweißraupe 24 zu bilden. Selbstverständlich kann auch ein stationäres Target benutzt werden, wobei dann die Relativbewegung erzielt wird, indem der Weg der Strahlung mit bekannten Vorrichtungen über das Target bewegt wird.

909851/0678

Gemäß der Erfindung wird der Oszillator, typischerweise ein Kohlendioxidlaser, so eingestellt, daß ein Dauerstrichstrahl erzeugt wird, der durch den Verstärker 14 verstärkt wird und als ein Strahlungsbündel hoher Leistung zu der Fokussieroptik 18 geht. In dem bevorzugten Ausführungsbeispiel enthält der Unterbrecher 16 gemäß der Darstellung in Fig. 2 eine Scheibe 26, die Zähne 28 hat, welche symmetrisch über den Umfang der Scheibe wie bei einem Kreissägeblatt verteilt sind. Die Zähne 28 haben Flanken 30, die symmetrisch um einen Radius R angeordnet sind, welcher sich von dem Mittelpunkt 32 der Scheibe zu dem Scheitel 34 der Zähne erstreckt. Die Scheibe ist mittels einer Stange 36 drehbar, welche an einem Ende in dem Mittelpunkt der Scheibe und am anderen Ende an einer Vorrichtung (nicht dargestellt) zum schnellen Drehen der Stange befestigt ist. Der Strahlunterbrecher ist zwischen dem Oszillator und dem Verstärker angeordnet, so daß der kontinuierliche Strahl aus dem Oszillator 12 durch die Lücke 38 zwischen benachbarten Zähnen hindurchgeht. Wenn die Scheibe rotiert, unterbrechen die Zähne wiederholt den Strahl und erzeugen Strahlungsimpulse. In einer bevorzugten Ausführungsform wird die von dem Oszillator 12 abgegebene Strahlung auf die Lücke 38 zwischen benachbarten Zähnen 28 durch eine optische Einrichtung 40 der in Fig. 1 gezeigten Art fokussiert. Eine Kollimationsoptik 42, die zwischen dem Strahlunterbrecher 16 und dem Verstärker 14 angeordnet ist, dient zum Sammeln der sich von dem Brennpunkt aus erweiternden Strahlung und zum Versorgen des Verstärkers mit kollimierter Strahlung.

Im Betrieb gehen die Zähne, wenn die Scheibe rotiert, durch den Weg des Laserstrahls und erzeugen eine periodische Strahlunterbrechung, durch die Impulse mit einer Impulsfolgefrequenz erzeugt werden, welche gleich  $N \times F$  ist, wobei N die Anzahl der Zähne längs des Umfangs der Scheibe und F die Drehfrequenz ist. Der Leistungswert der von dem Oszillator emittierten Strahlung ist typischerweise niedrig, um das Durchbrechen der Atmosphäre in der Lücke 38 zwischen benachbarten Zähnen an dem Brennpunkt der Fokussieroptik 40 zu ver-

01.05.79

- 11 -

2922553

meiden und die Verwendung von ohne weiteres verfügbarer Fokussieroptik zu ermöglichen, ohne daß komplizierte Kühlvorrichtungen erforderlich sind. Der eine relativ geringe Leistung aufweisende Strahl aus dem Oszillator wird beim Durchgang durch den Verstärker zu einem Hochleistungsstrahl verstärkt.

Der Strahlunterbrecher 16 erzeugt einen Impuls, der typischerweise eine Rechteckform mit einer Breite hat, die typischerweise kleiner als  $800 \mu\text{s}$  ist und der, wenn er durch den Verstärker hindurchgeht, einen Ausgangsimpuls ergibt, welcher eine Energiespitze 44 nahe der Vorderflanke 46 hat, wie es in Fig. 3 gezeigt ist. Die Spitze hoher Energie an der Vorderflanke des Impulses klingt auf einen stationären Wert 48 an der Hinterflanke 50 des Impulses ab. Die Spitze hoher Energie resultiert aus einem Resonatorentleerungseffekt jedes sich durch den Verstärker hindurchbewegenden Impulses. Wenn sich der Impuls durch den Verstärker hindurchbewegt, wird die Vorderflanke verstärkt, welche die Besetzungsinversion erschöpft, die für den übrigen Teil des Impulses verfügbar ist, welcher sich in der in Fig. 3 gezeigten Form ergibt. Da dem Verstärker Energie mit stetiger Geschwindigkeit geliefert wird, wird, wenn der zeitliche Abstand zwischen den Impulsen ausreichend lang ist, der typischerweise von 10 bis  $100 \mu\text{s}$  reicht, die in dem Verstärker gespeicherte Energie zwischen jedem Impuls wieder ergänzt und die mittlere Energie der auf einem Target einfallenden Strahlung ist nur etwas niedriger als die aus dem Dauerstrichstrahl verfügbare Dauerenergie, wie es in Fig. 3 gezeigt ist. Die durch den Verstärker hindurchgehenden Impulse werden durch die Fokussieroptik 18 auf eine hohe Energiedichte fokussiert und reagieren mit dem Werkstoff des Werkstückes.

Wenn die Folgefrequenz der Impulse schneller ist als die thermische Ansprechzeit des Werkstoffes, d.h. größer als ungefähr 1 kHz, reagiert der Werkstoff des Werkstückes mit dem durch die Spitze dominierten Teil des Impulses, wodurch die

909851/0678

Reflexionseigenschaften des Werkstoffes wirksam zerstört werden, während die Absorptionseigenschaften des Werkstoffes durch den gesamten mittleren Leistungswert charakterisiert werden. Die Impulsfolgefrequenz muß so eingestellt werden, daß die Energiespitze an der Vorderflanke des Impulses erzeugt wird, während eine ausreichende Energiemenge in jedem Impuls gehalten wird, um den schmelzflüssigen Zustand des Werkstoffes zwischen den Impulsen aufrechtzuerhalten. Das thermische Ansprechen des Werkstoffes gleicht daher dem bei einem Dauerstrahl, aber mit verbesserter Kopplung. Ein glattes Schmelzen des Werkstoffes des Werkstückes kann dann bei einem Tiefeindringbetrieb des Lasers mit einem Minimum an Energieverlust durch Reflexion aufrechterhalten werden. Glattes Schmelzen wird bei einem gegebenen Werkstückmaterial durch geeignete Wahl der Energie innerhalb jedes Impulses und durch richtiges Steuern des Tastverhältnisses der Impulse erzielt. Gemäß Fig. 4 wird das Tastverhältnis gesteuert, indem die Radialposition 52 des fokussierten Oszillatorstrahls verändert wird, wenn dieser durch die Lücken 38 zwischen benachbarten Zähnen der Unterbrecherscheibe hindurchgeht. Wenn die Radialposition des fokussierten Strahls von dem Grund 54 der Lücke 38 aus zu dem Scheitel 34 hin weiter nach außen verlagert wird, nimmt die Impulslänge von dem Minimum in der Nähe des Grundes der Lücke bis zu einem Maximum in der Nähe des Scheitels zu. Der Abstand zwischen Impulsen ist ein Maximum, wenn der Strahl nahe des Grundes fokussiert ist, und ein Minimum, wenn der Strahl in einer Radialposition nahe dem Scheitel fokussiert ist. Das Fokussieren des Strahls in einer Radialposition, die oberhalb des Scheitels liegt, ergibt eine auf dem Target einfallende Dauerstrahlung.

Als ein Beispiel für die Wirksamkeit des Verfahrens nach der Erfindung sei angegeben, daß es in der Lage ist, voll in einen 6,2 mm dicken Kupfertargetwerkstoff bei 3 kW mittlerer Leistung mit einem Strahlfleckdurchmesser von 0,76 mm einzudringen. Im Gegensatz dazu tritt beim Betreiben des Lasersystems

im Dauerstrichbetrieb eine im wesentlichen vollständige Reflexion für das 6,2 mm dicke Kupfertarget bei Leistungswerten bis zu 15 kW auf. Darüber hinaus betrug bei der Anwendung beim Schweißen, bei welchem die Scheibe 26 mit 6 kHz gedreht wurde und symmetrisch verteilte Zähne hatte, die eine AUS-Zeit von 42  $\mu$ s und eine EIN-Zeit von 126  $\mu$ s, d.h. ein Tastverhältnis von 75% ergaben, die Schweißgeschwindigkeit für ein 12,7 mm dickes Stahlstück 2030 mm/min bei einer mittleren Leistung von 14 kW. Bei einer Dauerstrichleistung von 14 kW betrug die Schweißgeschwindigkeit 1270 mm/min. Weiter trat der in Fig. 5A gezeigte charakteristische Nagelkopf 56 der bekannten Schweißverfahren nicht auf. Statt dessen ergab sich unter Anwendung des unterbrochenen Betriebes das in Fig. 5B gezeigte Schweißprofil 58. Der Nagelkopf 56, der durch bekannte Schweißverfahren erzeugt wird, ist typischerweise auf eine Wärmeübertragung aus einem strahlabsorbierenden Plasma 60, wie es in Fig. 5A gezeigt ist, zurückzuführen, das sich typischerweise deutlich über einen Dampfhohlraum in der Oberfläche des Werkstückes längs des Weges des Strahls heraus erstreckt. Die Energie des Strahls, die durch das Plasma absorbiert wird, wird zu der Oberfläche des Werkstoffes geleitet und gestrahlt und verursacht eine Verbreiterung der Verteilung der einfallenden Energie und führt zu einem relativ breiten wärmebeeinflussten Gebiet nahe der Oberfläche des Werkstoffes. Es ist festzustellen, daß die Nagelkopfkonfiguration typischerweise auch dann bleibt, wenn bekannte, mit einem Gasstrom arbeitende Plasmaunterdrückungsvorrichtungen benutzt werden, da das Auslöschen des Plasmas mit diesen Vorrichtungen nicht vollständig erfolgt. Das Nichtvorhandensein des charakteristischen Nagelkopfes in der Schweißung 58, die mit dem Verfahren nach der Erfindung hergestellt worden ist, zeigt, daß ein Plasma an der Oberfläche des Werkstoffes nicht existiert. Gemäß Fig. 5B ist nicht nur der Nagelkopf in den mit dem Unterbrechungsverfahren hergestellten Schweißungen nicht vorhanden, sondern die Schweiß-

zone hat auch parallelere Seiten. Es ist offensichtlich, daß das Gesamtvolumen des geschmolzenen Werkstoffes im wesentlichen gleich bleibt, so daß die Energie, die bei dem bekannten Verfahren zum Schmelzen des Nagelkopfes benutzt wird, nun zum Fördern einer nützlichen Verbindung ausgenutzt wird. Die Schweißgeschwindigkeit nimmt deshalb proportional zu der Menge an Werkstoffentfernung aus dem Nagelkopf zu.

Das Begrenzen der Dauer jedes Impulses auf eine Zeitspanne, die kürzer ist als die Zeit, die für die Bildung des Plasmas benötigt wird, unter gleichzeitigem Aufrechterhalten einer ausreichend hohen Impulsfolgefrequenz, damit dem Werkstoff genügend Energie zum Aufrechterhalten des schmelzflüssigen Zustands geliefert wird, führt zur Erzeugung von Schweißungen ohne die Erzeugung eines Plasmas. Die Impulsdauer wird im allgemeinen auf weniger als 800  $\mu$ s eingestellt. Mit einer äquivalenten mittleren Energie können daher beträchtlich höhere Schweißgeschwindigkeiten mit dem mit unterbrochenen Strahl arbeitenden Verfahren als mit einem mit einem Dauerstrichstrahl arbeitenden Verfahren erzielt werden. Weiter können Werkstoffe mit hohem Ausgangsreflexionsvermögen bei einem mittleren Leistungswert wirksam geschweißt werden, der wesentlich unter dem liegt, der zum Schweißen mit einem kontinuierlichen Strahl erforderlich ist.

Die Erfindung ist zwar anhand ihrer bevorzugten Ausführungsform beschrieben worden, bei welcher eine Oszillator-Verstärker-Konfiguration benutzt wird, es ist jedoch klar, daß das Unterbrechen eines Hochleistungsdauerstrichstrahls aus einem Oszillator mit einer ausreichend hohen Frequenz die Bildung eines Plasmas an der Oberfläche des Werkstoffes wirksam beseitigen sollte. Die Verwendung eines Verstärkers ergibt den zusätzlichen Vorteil einer höheren Intensität der Impulse aufgrund des Impulsformungseffekts des Verstärkers.



01.05.74

- 15 -

2922563

#### Z u s a m m e n f a s s u n g :

Ein Verfahren zum Bearbeiten, insbesondere zum Schweißen von Werkstoffen unter Verwendung einer hochfrequenten Unterbrechung einer Dauerstrichlaserstrahlung wird beschrieben. Die Laserstrahlungsimpulse werden mit einer Impulsfolgefrequenz erzeugt, die schneller ist als die Zeit des thermischen Ansprechens des Werkstoffes und typischerweise größer als 1 kHz, wobei der Werkstoff mit den Impulsen derart reagiert, daß die Eigenschaften des Oberflächenreflexionsvermögens des Werkstoffes durch die Spitzenleistung in dem Impuls beherrscht und die Eigenschaften des Schmelzens des Werkstoffes durch die mittlere Leistung der Impulse kontrolliert werden. Die Dauer jedes Impulses wird so eingestellt, daß sie kleiner als die Zeit ist, die zum Erzeugen eines strahlabsorbierenden Plasmas neben der Schweißzone erforderlich ist. Das Nichtvorhandensein eines strahlabsorbierenden Plasmas und die wirksame Zerstörung des Reflexionsvermögens der Oberfläche des Materials führen zu einem höheren Schweißwirkungsgrad und/oder zu einer höheren Schweißgeschwindigkeit.

909851/0678

01.06.79

U 653

2922563

FIG. 3

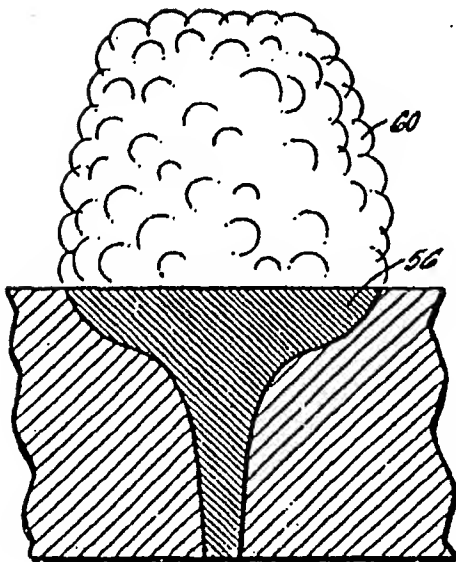
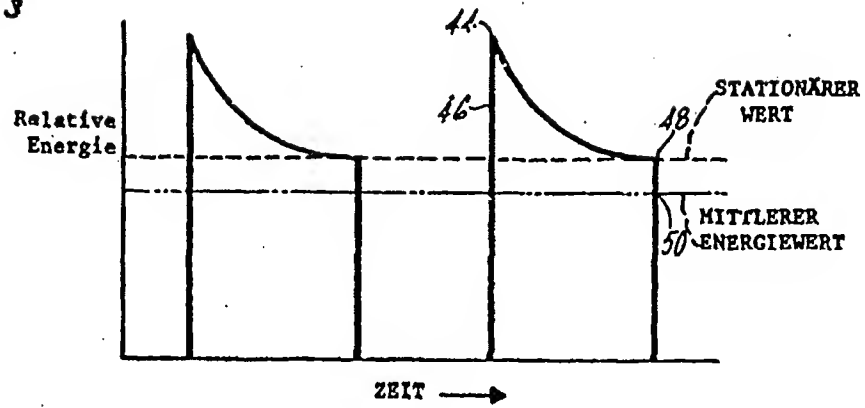


FIG. 5A

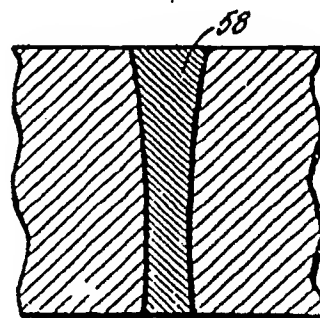


FIG. 5B

01-05-73

U 653

**Nummer:**

20 22 603

**Int. Cl.2:**

**B 23 K 26/00**

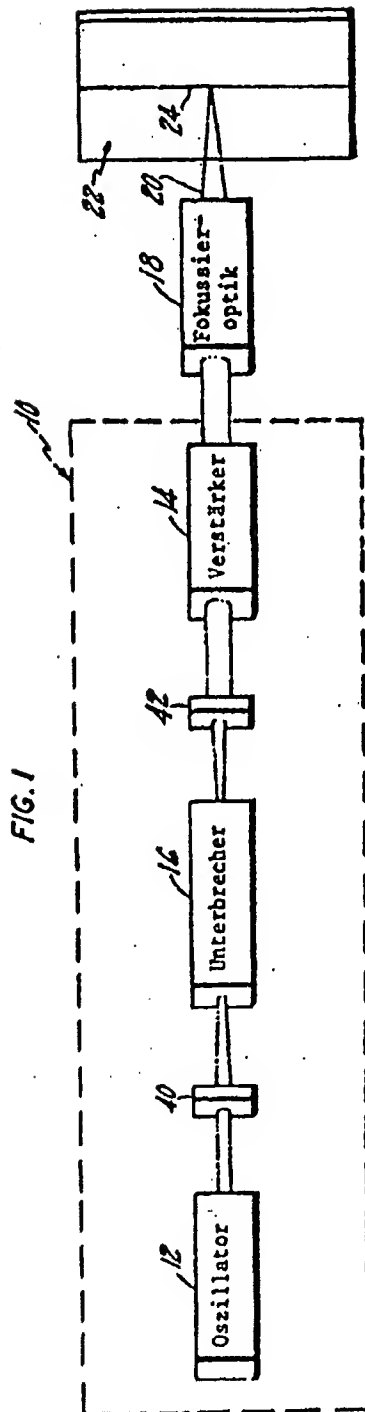
Anmeldetag:

**1. Juni 1970**

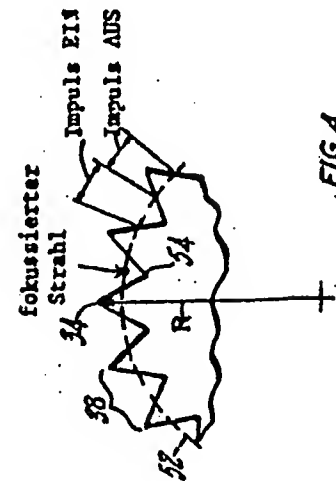
**Offenlegungstag:**

**20. Dezember 1979**

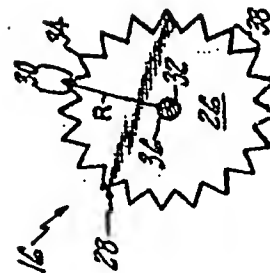
2922563



**FIG. 1**



**FIG. 4**



**FIG. 2**

909851/0678

8. Verbindung, die einen Abgaskrümmmer (3), der ein Innenrohr (7) und ein Aussenrohr (9) aufweist, und ein Abgasaggregat (5) mit einer Öffnung (12) enthält, wobei das Aussenrohr (9) aus mindestens einem Blechbauteil und zumindest die Öffnung (12) des Abgasaggregats (5) aus Gussmetall gefertigt ist, das Innenrohr (7) in die Öffnung (12) des Abgasaggregats (5) eingeführt ist und wobei das mindestens eine Blechbauteil des Aussenrohrs (9) und die Öffnung (12) eine durch ein gepulstes Schweissverfahren hergestellte Schweissverbindung aufweisen.